



## Technique d'accélération d'un simulateur à tracer de rayons 3D en environnements ferroviaires

Siham Hairoud, Pierre Combeau, Yannis Pousset, Jean-François Cailbault,  
Yann Cocheril, Marion Berbineau

### ► To cite this version:

Siham Hairoud, Pierre Combeau, Yannis Pousset, Jean-François Cailbault, Yann Cocheril, et al.. Technique d'accélération d'un simulateur à tracer de rayons 3D en environnements ferroviaires. Journées Nationales Micro-ondes, May 2011, Brest, France. 4 p. hal-00683200

**HAL Id: hal-00683200**

**<https://hal.science/hal-00683200>**

Submitted on 28 Mar 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Technique d'accélération d'un simulateur à tracer de rayons 3D en environnements ferroviaires

Siham Hairoud<sup>1,2</sup>, Pierre Combeau<sup>1</sup>, Yannis Pousset<sup>1</sup>, Jean-François Cailbault<sup>1</sup>, Yann Cocheril<sup>2</sup>, Marion Berbineau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire XLIM, département SIC (Signal Image Communication), UMR CNRS n° 6172  
Bât. SP2MI - Téléport 2 Boulevard Marie et Pierre Curie - B.P.30179 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex (France)

<sup>2</sup> Université Lille Nord de France, F-59000, INRETS, LEOST, F-59666 Villeneuve d'Ascq

hairoud@sic.univ-poitiers.fr

### Résumé

*Dans cet article, nous proposons une technique de réduction du temps de simulation d'un logiciel de propagation à tracé de rayons 3D dans un contexte ferroviaire dynamique. Celle-ci vise à simplifier la modélisation de l'environnement en supprimant tous les éléments géométriques ne contribuant pas suffisamment au bilan énergétique. Ainsi, les résultats obtenus pour un canal MIMO (Multiple Input Multiple Output) 4x4 à la fréquence 5,8 GHz sont prometteurs puisqu'un gain en temps de calcul de 5 a été obtenu sans pour autant porter préjudice à la précision tant en terme de puissance reçue que de paramètre large bande.*

### 1. Introduction

Depuis quelques années les systèmes de communications sans fils ont trouvé leur place dans les transports ferroviaires. Diverses solutions ont été proposées dans le but de renforcer la sécurité du trafic comme l'utilisation de la transmission de données pour localiser des trains et transmettre les informations de vitesse et les ordres d'arrêt en temps réel à des trains en circulation. Afin de déployer ces systèmes en environnement confiné de type tunnel ferroviaire, il est indispensable de pouvoir modéliser l'impact de ce type d'environnement sur la propagation des ondes radios. Au vu des dimensions des environnements considérés, les méthodes asymptotiques en fréquence alliées à des techniques de tracer de rayons sont des solutions. Néanmoins, bien que plus rapides que les méthodes rigoureuses (FDTD, TLM ...), leur temps de simulation reste directement liés à la complexité de la géométrie traitée, et peuvent rapidement devenir prohibitifs, en particulier dans un contexte de scénario dynamique. En effet, il s'agit dans ce cas de relancer une simulation pour chaque position successive des obstacles mobiles. Pour garantir des temps de calcul raisonnables, des techniques d'accélération deviennent alors nécessaires.

Plutôt que de classiquement intervenir sur les algorithmes de simulation, [1-5], nous proposons dans cet article une méthode originale.

Celle-ci consiste à analyser, au cours du scénario dynamique considéré, l'impact des différents éléments constituant l'environnement sur le niveau de puissance reçu. Ainsi, l'objectif est de dégrader progressivement la finesse de la description géométrique de l'environnement considéré en supprimant les éléments ne contribuant pas suffisamment au bilan énergétique, sans porter préjudice à la précision de la prédiction.

Cet article se compose comme suit. La deuxième section est consacrée à la présentation du simulateur de propagation d'ondes basé sur un tracé de rayons 3D allié à l'Optique Géométrique (OG) et à la Théorie Uniforme de la Diffraction (TUD). Puis nous explicitons notre méthode d'optimisation dans la troisième section. La quatrième section présente la phase de validation, et enfin, nous concluons nos travaux et présentons ses perspectives en section cinq.

### 2. Simulation du canal de propagation

Lors d'une transmission entre un émetteur et un récepteur, l'onde se propageant par multi trajets subit des perturbations électromagnétiques. Ces dernières sont principalement dues aux interactions avec l'environnement telles que la réflexion, la diffraction, la réfraction et la combinaison de ces dernières. En conséquence les paramètres intrinsèques de l'onde (polarisation, phase) sont modifiés, conduisant notamment à des évanouissements profonds du signal reçu.

Dans ce contexte, le laboratoire Xlim-SIC développe depuis de nombreuses années un simulateur à tracé de rayons 3D [6-9] permettant de prédire les différentes trajectoires suivies par les ondes, ainsi que le champ électrique résultant. La recherche des trajectoires est basée sur le principe de Fermat et le champ électrique est obtenu suivant les lois de l'Optique Géométrique et de ses extensions (TUD).

Les données d'entrée du simulateur sont principalement la géométrie de l'environnement en trois dimensions et le nombre maximum d'interactions considérées (cf. figure 1). Le simulateur fournit alors l'ensemble des trajectoires suivies ainsi que leurs

caractéristiques géométriques et électromagnétiques. Ce qui nous permet d'obtenir la réponse impulsionnelle complexe et tous les paramètres caractéristiques du canal de propagation.

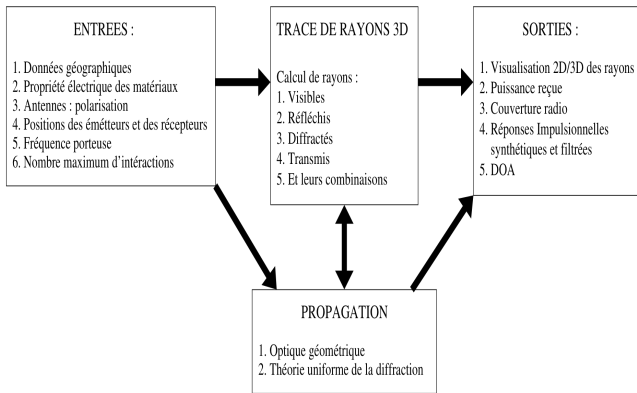


Figure 1. Synoptique du simulateur

Néanmoins, comme nous l'avons indiqué en introduction, le temps de calcul de cet outil augmente exponentiellement en fonction du nombre d'obstacles considérés. Ainsi, le paragraphe suivant propose une méthode de réduction de ces temps de calcul par simplification de la modélisation géométrique de l'environnement.

### 3. Optimisation

#### 3.1. Scénario et paramétrage du simulateur

L'étude est réalisée dans le cas d'un scénario dynamique associé à un canal MIMO 4x4. Nous avons modélisé un tunnel bi voies en béton ( $\epsilon=10 \text{ F.m}^{-1}$  et  $\sigma=0.1 \text{ S.m}^{-1}$ ) contenant deux rames métalliques ( $\epsilon=1 \text{ F.m}^{-1}$  et  $\sigma=56000 \text{ S.m}^{-1}$ ). L'une est fixe et placée sous le réseau d'antennes émettrices (cf. figure 2) et l'autre est mobile et porte le réseau d'antennes réceptrices. Le pas de déplacement est fixé à  $\lambda/3$ , soit tous les 1,7 cm pour une fréquence de 5,8 GHz. La puissance d'émission est de 1 mW, les dimensions du tunnel sont 500 x 4,5 x 4,5 m<sup>3</sup>. Les deux rames ont la même dimension, soit 120 x 3 x 4 m<sup>3</sup>. Les émetteurs sont placés à une hauteur de 4,3 m (suivant l'axe Oz) du sol du tunnel et sont espacés de 50 cm. Les antennes utilisées ici sont des dipôles verticaux. Les récepteurs sont placés à une hauteur de 4,1 m et espacés les uns des autres de 50 cm. Nous avons fixé le nombre d'interactions électromagnétiques à 6 réflexions et 1 diffraction. Toutefois, une étude dans le même contexte a prouvé que nous pouvions assurer la convergence des résultats entre la mesure et la simulation à partir de 5 réflexions et 1 diffraction [12] (Alors pourquoi tu en considères 6 ???).

#### 3.2. Méthode d'identification des faces influentes

Le principe de notre méthode consiste à dégrader la finesse de la description géométrique de l'environnement étudié par élimination des éléments ayant peu d'impact sur le niveau de puissance reçu. Dans le cas de cette étude, nous nous intéressons à des environnements de

type tunnel ou station de métro. Ces derniers sont essentiellement constitués de faces planes (rame et parois du tunnel). Nous nous attacherons donc à supprimer les faces qui n'ont pas d'impact significatif sur la propagation des ondes, i.e. celles pour lesquelles la puissance résultant de l'ensemble des trajets ayant interagi avec elles est considérée négligeable.

De plus, nous avons trouvé plus judicieux, dans un premier temps, de ne s'intéresser qu'aux faces de la rame mobile plutôt qu'à celles des éléments fixes, puisque le contexte de nos travaux considère l'étude de la propagation en environnement dynamique.

Notons  $p_{ref,i}$  la puissance de référence correspondant aux contributions de l'ensemble des rayons ayant interagi avec la rame mobile, à la position  $i$ . Nous comparons ensuite cette puissance de référence à celle correspondant aux contributions de l'ensemble des rayons ayant interagi avec une des faces, que nous notons  $p_{face,i}$ . Si l'écart constaté (1) est inférieur à un premier seuil  $x_1$  (en dB), la face est considérée Contributive (FC) car l'énergie portée par les rayons ayant interagi avec elle est jugée significative. Si l'écart constaté est supérieur à  $x_1$  et inférieur à un nouveau seuil  $x_2$  (en dB), la face est considérée Moyennement Contributive (FMC). Si l'écart est supérieur à  $x_2$ , la face est considérée Non Contributive (FNC), car l'énergie portée par les rayons ayant interagi avec elle est jugée négligeable. L'écart entre  $p_{ref,i}$  et  $p_{face,i}$  est calculé pour chacune des positions de la rame mobile ainsi que pour chaque couple d'antennes émettrice et réceptrice, révélant ainsi le caractère contributif de chacune des faces lors du déplacement de la rame. Le caractère finalement retenu pour chaque face (FC, FMC, FNC) correspond à celui présentant l'occurrence maximale.

$$err_i = p_{ref,i} - p_{face,i} \quad (1)$$

où :

$p_{ref,i}$  : la puissance de référence à la position  $i$

$p_{face,i}$  : la puissance associée aux trajets ayant interagi avec une face à la position  $i$ .

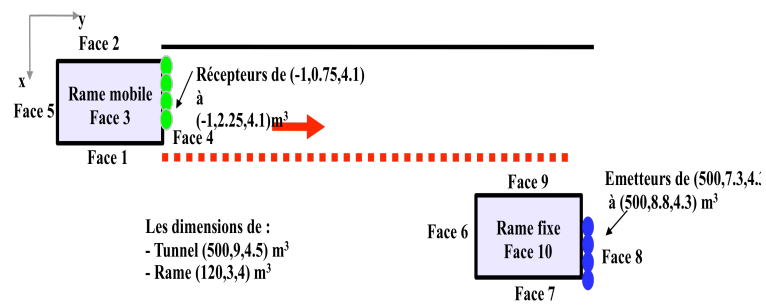


Figure 2. Scénario considéré (29471 positions)

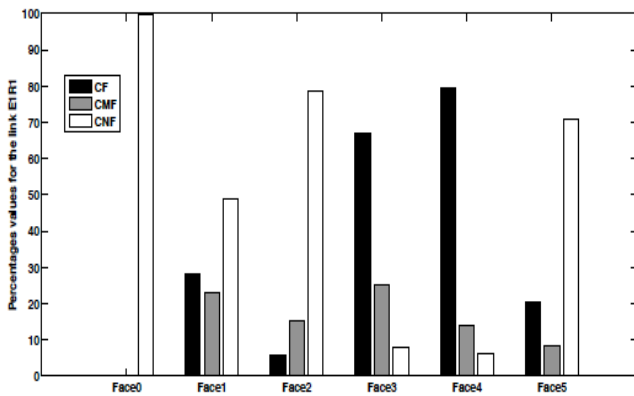
Les seize faces de notre environnement sont numérotées de 0 à 15 (cf. figure 2). Les faces n'apparaissant pas sur la figure 2 correspondent respectivement à :

La face 0 : sol de la rame mobile,

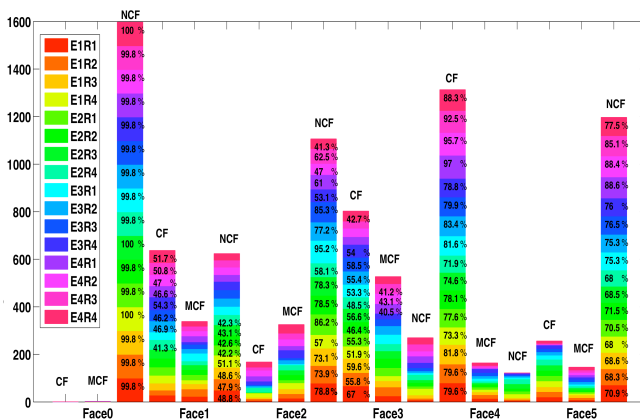
La face 11 : sol de la rame fixe,  
 La face 12 : sol du tunnel,  
 La face 13 : plafond du tunnel,  
 La face 14 : mur du tunnel côté rame mobile,  
 La face 15 : mur du tunnel côté rame fixe,

### 3.3. Résultats

Les seuils  $x_1$  et  $x_2$  ont été empiriquement fixés à -10 dB et -20 dB respectivement (une erreur de 10 à 20 dB est relativement conséquente). À titre d'exemple pour la liaison E1R1 (cf. figure 3), il ressort que la face la plus contributive, et présentant ce caractère pour près de 79,60% des positions de la rame mobile, est la face 4 (cf. figure 1.). Suivent la face 3 (66,98%), la face 1 (28,30%), la face 5 (20,64%), la face 2 (5,97%) et enfin la face 0 (0,19%). Étendons à présent nos observations aux 16 sous canaux MIMO (cf. figure 4).



**Figure 3. Occurrence (en pourcentage) des caractères FC, FMC et FNC calculé sur les 29471 positions de la rame mobile, pour la liaison E1R1**



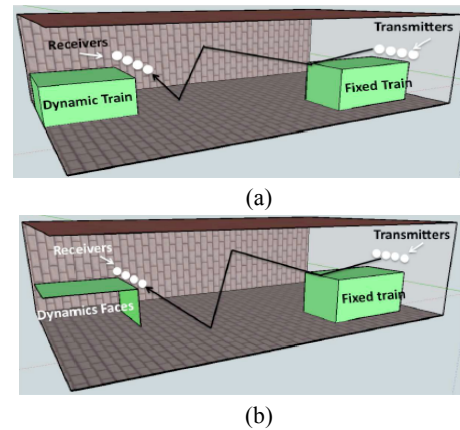
**Figure 4. Extension des résultats présentés dans la figure 2 aux 16 Liens SISO**

Grâce à cette représentation, nous constatons que quelle que soit la liaison étudiée, la face 4 est toujours la plus contributive suivie de la face 3, la face 1, la face 5, la face 2 et enfin la face 0. Ainsi, il apparaît que les faces pouvant à priori être éliminées sans dégrader la précision de la simulation sont, dans l'ordre, les faces 0, 1, 2 et 5.

## 4. Validation des résultats

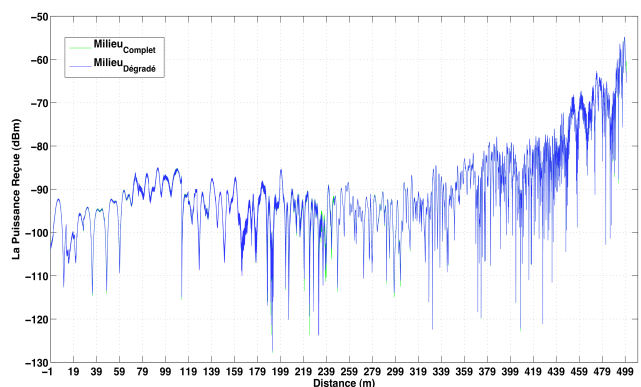
### 4.1. Résultats en bande étroite

Afin de valider nos conclusions et de nous assurer que la dégradation de la finesse de la description géométrique de l'environnement ne porte pas préjudice à la précision des résultats, nous comparons les résultats obtenus pour la simulation d'un environnement complet à ceux obtenus par la simulation du même environnement mais en ne considérant que les faces jugées contributives (faces 4 et 3), au sens du critère présenté au paragraphe 3.1 (cf. figure 5).



**Figure 5. Modèle d'environnement considéré : a) complet, b) dégradé**

La figure 6 présente l'évolution de la puissance totale reçue (liaison E1R1) au cours du déplacement de la rame mobile, pour les modèles d'environnement complet et dégradé respectivement. On constate une superposition quasi parfaite des deux courbes, confirmant ainsi les conclusions avancées dans l'étude précédente.

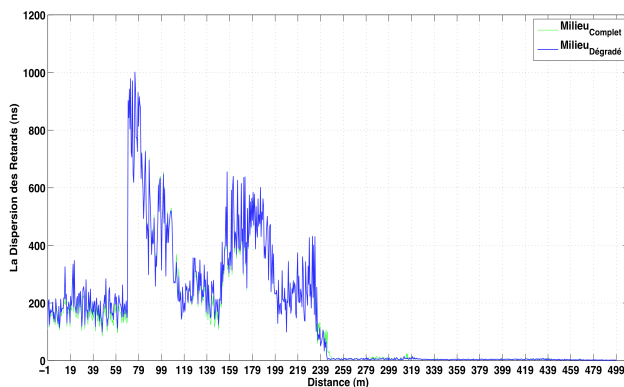


**Figure 6. Comparaison des puissances reçues associées aux deux modèles d'environnement**

### 4.2. Résultats en large bande

Des comparaisons ont été réalisées sur un ensemble de paramètres large bande. Celles ci ont toutes confirmé nos hypothèses. À titre d'exemple, nous présentons sur la figure 7 l'évolution de la dispersion des retards en fonction du déplacement de la rame, obtenue en considérant les environnements complet et dégradé

respectivement. On constate encore une fois une très bonne concordance des courbes.



**Figure 7. Comparaison des dispersions des retards associées aux deux modèles d'environnement**

#### 4.3. Comparaison du temps de simulation

Nous avons montré (cf. paragraphe 4.1 et 4.2) que la modification de la description géométrique de l'environnement n'a pas d'impact significatif sur la précision de la simulation. Concernant les temps de simulation, le tableau 1 indique un gain important d'un facteur 5.

	(6 faces)	(2 faces)
Temps	40 j 12 h 38 min	8 j 1 h 13 min

**Tableau 1. Impact de la méthode sur le temps de calcul**

## 5. Conclusion

Les résultats obtenus sont concluants et montrent qu'il est possible de dégrader la finesse de la description géométrique de l'environnement sans impacter la précision de la simulation. Dans la suite de ce travail, nous proposons d'étendre cette analyse en définissant des critères géométriques associés aux caractères contributifs des faces, permettant ainsi de simplifier l'environnement à étudier sans faire appel aux simulations.

## 6. Bibliographie

- [1] Gerd Wolfle, Reiner Hope and Friedrich M Landstorfer, A Fast and Enhanced Ray Optical Propagation Model for Indoor and Urban Scenarios, Based on an Intelligent Preprocessing of the Database.
- [2] R. Hoppe, P.Wertz and Friedrich M Landstorfer, Advanced Ray-Optical Wave Propagation Modeling for Urban and Indoor Scenarios Including Wideband Properties.
- [3] Tetsuro Imai, Novel Ray-tracing Acceleration Technique Using Genetic Algorithm for Radio Propagation Prediction. NTT Technical Review
- [4] Fernando Aguado Agelet, Fernando Perez Fontan and Arno Formella, Fast Ray Tracing for Microcellular and Indoor Environments. Submitted to IEEE Transaction on Magnetics. March 19, 1996
- [5] Fast Computational Techniques For Indoor Radio Channel Estimation Computing In Science And Engineering 1521-9615/99/ 1999 IEEE.
- [6] F. Escarieu, Y. Pousset, L. Aveneau and R. Vauzelle. Outdoor and indoor channel characterization by a 3D simulation software. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. B105-B111. PIMRC 2001, September 2001
- [7] F. Mora and L. Aveneau. Optimised Scanning of a Visibility Graph Data Structure for Efficient Ray-Tracing. ECWT2005 - Paris, October 2005.
- [8] Masson, E. Combeau, P. Cocheril, Y. Berbineau, M. Aveneau, L. & Vauzelle, R. Radio wave propagation in arch-shaped tunnels: Measurements and simulations by asymptotic methods Comptes rendus physique de l'academie des sciences, Elsevier, 2010, 11, 44 – 53.
- [9] Combeau, P. Aveneau, L. Vauzelle, R. & Pousset, Y. Efficient 2-D ray-tracing method for narrow and wideband channel characterisation in microcellular configurations IEE Proceedings on Microwave Antennas and Propagation, 2006, 153, 502-509.
- [10] M.F. Iskander et Z.Y. Yun. Propagation Prediction Models for Wireless Communication Systems. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 50(3), Mars 2002.
- [11] L. Aveneau, Y. Pousset, R. Vauzelle, M.Mériaux. Development and Evaluations of Physical and Computer Optimizations for the UTD 3D Model. IEEE Antennas & Propagation'2000, Davos, Suisse - Avril 2000
- [12] P. Mariage, M. Lienard and P. Degauque. Theoretical and Experimental Approach of the Propagation of High Frequency Waves in Road Tunnels, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.41, No.1, January 1994.